Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 18, No. 3, Fall. 2020, p. 309-322

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۸، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۹، ص. ۳۲۲-۳۰۹

مقاله علمی-پژوهشی

ارزیابی عملکرد زیست‌توده و شاخص‌های کارایی نیتروژن و فسفر خرفه (*Portulaca oleracea* L.) تحت تأثیر کودهای آلی، شیمیایی و زیستی

حامد جوادی[1]، پرویز رضوانی مقدم[2]*، محمد حسن راشد محصل[3]، محمد جواد ثقه الاسلامی[4]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۲/۰۷
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۷/۲۱

چکیده

به‌منظور بررسی اثر کودهای آلی، زیستی و شیمیایی بر عملکرد و اجزای عملکرد دانه خرفه، آزمایشی در سال‌های زراعی ۹۴-۱۳۹۳ و ۹۵-۱۳۹۴ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه بیرجند به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. تیمارهای آزمایش بر اساس ترکیبی از چهار منبع تأمین‌کننده نیتروژن شامل: کود گاوی، ورمی‌کمپوست، کود شیمیایی (NPK) و شاهد (بدون اعمال هیچ‌گونه کودی) و نیز چهار نوع کود زیستی شامل: نیتروکسین (شامل ازتوباکتر و آزوسپیریلوم)، میکوریزا (*Glomus intraradices*)، بیوسولفور (شامل تیوباسیلوس) و شاهد (بدون هیچ‌گونه کودی) بودند. نتایج دو ساله برهمکنش منابع کودی نیتروژن و کود زیستی نشان داد که در تیمار کود شیمیایی (NPK) مصرف نیتروکسین موجب افزایش عملکرد زیست‌توده (۴۵/۶ درصد)، کارایی زراعی نیتروژن زیست‌توده (۵۲ درصد)، فسفر زیست‌توده (۲ برابر)، محتوای فسفر زیست‌توده (۲/۸ برابر) و مصرف بیوسولفور موجب افزایش نیتروژن زیست‌توده (۵۲/۹ درصد)، محتوای نیتروژن زیست‌توده (۲ برابر)، کارایی جذب نیتروژن (۲/۱ برابر) نسبت به شاهد (عدم مصرف هیچ کودی) شد. در تیمار کود گاوی مصرف نیتروکسین موجب افزایش کارایی فیزیولوژیک زیست‌توده (۸ درصد) و در تیمار عدم مصرف کود آلی و شیمیایی استفاده از نیتروکسین موجب افزایش کارایی جذب فسفر (۲۲/۴ درصد) و استفاده از میکوریزا و بیوسولفور (به‌ترتیب ۲۹/۹ و ۲۱/۴ درصد) موجب افزایش کارایی فیزیولوژیک فسفر زیست‌توده نسبت به شاهد (عدم مصرف هیچ کودی) شد. همچنین مصرف منابع کودی نیتروژن موجب کاهش کارایی زراعی فسفر زیست‌توده نسبت به شاهد شد. بر اساس نتایج این آزمایش، جهت دستیابی به حداکثر عملکرد زیست‌توده و با در نظر گرفتن حداکثر کارایی مصرف فسفر و نیتروژن زیست‌توده استفاده از تیمار کود شیمیایی (NPK) و نیتروکسین در منطقه بیرجند توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: بیوسولفور، کود گاوی، میکوریزا، نیتروکسین، ورمی‌کمپوست

مقدمه

نیتروژن کلیدی‌ترین عنصری است که باعث حاصلخیزی خاک و تولید محصولات کشاورزی می‌شود و نسبت به سایر عناصر ضروری مقدار بیشتری از آن مورد نیاز است (Berenguer *et al.*, 2009). در سال‌های اخیر، استفاده از کودهای شیمیایی تا حد معینی باعث افزایش کمیت و کیفیت محصولات زراعی شده است (Inanloofar *et al.*, 2013; Asadi *et al.*, 2014; Yusefian Ghahfarokhi *et al.*, 2015)، اما نتایج برخی بررسی‌ها نشان می‌دهد که استفاده طولانی‌مدت از کودهای شیمیایی باعث تخریب ساختمان خاک، افزایش هزینه‌ها و کاهش پتانسیل تولید و مشکلات زیست‌محیطی می‌شود (Yang *et al.*, 2006). همچنین، توجه مردم به‌ویژه در کشورهای توسعه‌یافته به غذای سالم و عاری از سم و کود شیمیایی و مقابله با گرم شدن زمین از طریق کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای اهمیت کاهش کودهای شیمیایی و جایگزین نمودن آن با نهاده‌های طبیعی و درون مزرعه‌ای را دوچندان کرده است (Den Hollander *et al.*, 2007).

با توجه به این‌که ایران از اقلیم خشک و نیمه‌خشک برخوردار بوده و خاک‌های آن اغلب با کمبود مواد آلی مواجه هستند و از طرف دیگر، آهکی بودن این خاک‌ها مانع از جذب عناصر غذایی به‌ویژه عناصر کم‌تحرکی مانند فسفر می‌شوند (Rahimzadeh *et al.*, 2013)، لذا جایگزین نمودن کودهای آلی و زیستی با کودهای شیمیایی و یا کاربرد ترکیبی آن‌ها، ضمن آزادسازی تدریجی عناصر غذایی مطابق با نیاز گیاه (Talgre *et al.*, 2009) و افزایش کارایی نهاده‌ها از طریق توسعه ریشه گیاه، جذب بیشتر آب و عناصر غذایی و بهبود خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک (Koocheki *et al.*, 2015) باعث پایداری نظام کشاورزی در درازمدت می‌شود.

۱- دانش‌آموخته دکتری، بوم‌شناسی زراعی، گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
۲ - استاد، گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
۳- استاد، گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
۴- دانشیار، گروه کشاورزی، واحد بیرجند، دانشگاه آزاد اسلامی، بیرجند، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: rezvani@um.ac.ir)

DOI: 10.22067/gsc.v18i3.85781

خرفه (*Portulaca oleracea* L.) گیاهی یک‌ساله و چهار کربنه از خانواده Portulacaceae است که به تنش‌های محیطی از جمله شوری و خشکی مقاوم می‌باشد (Rahimi *et al*., 2011). این گیاه در بسیاری از کشورهای دنیا برای اهداف گوناگون از جمله تغذیه انسان، صنایع تبدیلی و دارویی کاربرد دارد. از نظر خواص دارویی، این گیاه مدر، ضد کمبود ویتامین ث، معالج سرفه‌های مقاوم، تصفیه‌کننده خون، تب‌بر، مفید درترمیم سوختگی‌ها، شل کننده عضلات، ضد تشنج، ضدالتهاب، کاهش‌دهنده خطر بیماری‌های قلبی و عروقی، رفع تشنگی می‌باشد (Soltaninejhad *et al*., 2013; Aynanlvfr *et al*., 2014).

در تحقیقی، کاربرد کودهای آلی و شیمیایی نسبت به شاهد (عدم کاربرد کود) وزن خشک بوته خرفه را افزایش داد، ولی تأثیر مصرف کود شیمیایی بر این صفات بیشتر از کودهای آلی بود (Yusefian Ghahfarokhi *et al*., 2015). نتایج مطالعه‌ای در خصوص سیاهدانه (*Nigella sativa* L.) نشان داد که کارایی جذب و مصرف نیتروژن در کودهای آلی به‌طور معنی‌داری بیشتر از کودهای شیمیایی بود (Rezvani Moghaddam *et al*., 2014). در تحقیقی دیگر که به‌منظور مقایسه اثر سطوح مختلف کودهای آلی (کود گاوی و ورمی‌کمپوست) و شیمیایی (اوره) بر شاخص‌های کارایی نیتروژن در اسفرزه (*Plantago ovata* Forsk.) انجام گرفت مشخص شد با افزایش مقدار کود، درصد و محتوای نیتروژن زیست‌توده افزایش یافت. همچنین، بالاترین کارایی مصرف و بهره‌وری نیتروژن بر اساس عملکرد دانه و عملکرد زیست‌توده اسفرزه برای شاهد به‌دست آمد. در این تحقیق سطوح مختلف کودهای آلی از نظر کارایی جذب و بهره‌وری نیتروژن در مقایسه با کودهای شیمیایی برتری داشتند (Asadi *et al*., 2014). در تحقیقی، استفاده از کودهای گاوی و ورمی‌کمپوست باعث افزایش میزان فسفر و پتاسیم زیست‌توده و کارایی جذب و مصرف فسفر و پتاسیم سیاهدانه شد (Rezvani Moghaddam *et al*., 2014). در مطالعه‌ای دیگر، بیشترین میزان فسفر زیست‌توده، کارایی جذب فسفر و کارایی مصرف فسفر و پتاسیم سیاهدانه از تیمار تیوباسیلوس همراه با گوگرد به‌دست آمد. در این تحقیق، اثر نیتروکسین بر درصد جذب فسفر و پتاسیم، میزان پتاسیم و کارایی جذب پتاسیم معنی‌دار نبود (Rezvani Moghaddam and Seyyedi, 2014).

با توجه به اهمیت خرفه به‌عنوان یک گیاه مقاوم به شوری و خشکی و مستعد پرورش در مناطق خشک و نیمه‌خشک به‌ویژه در خراسان جنوبی و افزایش تولید آن در کشور، تاکنون اطلاعات دقیقی در خصوص نیاز کودی این محصول در دسترس نیست و کشاورزان برای تولید آن مقدار زیادی کود شیمیایی مصرف می‌کنند که این موضوع علاوه بر هدر رفت سرمایه، باعث آلودگی محیط‌زیست می‌گردد. بر این اساس، در راستای بهبود کارایی نیتروژن و فسفر از طریق کاهش مصرف کود شیمیایی و استفاده از منابع پایدار تأمین‌کننده نیتروژن و فسفر، این مطالعه با هدف بررسی اثر کودهای آلی، شیمیایی و زیستی بر عملکرد زیست‌توده و کارایی مصرف نیتروژن و فسفر خرفه در شرایط آب و هوایی بیرجند طراحی و اجرا شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در دو سال زراعی ۹۴-۱۳۹۳ و ۹۵-۱۳۹۴ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه بیرجند با مختصات جغرافیایی ۳۲ درجه و ۵۲ دقیقه عرض شمالی و ۵۹ درجه و ۱۳ دقیقه طول شرقی و با ارتفاع ۱۴۸۰ متر از سطح دریا به اجرا درآمد. محل آزمایش از نظر اقلیمی بر اساس سیستم طبقه‌بندی آمبرژه جزو مناطق خشک است. میانگین ۱۵ ساله بارندگی این منطقه ۱۷۶ میلی‌متر، حداکثر دمای آن ۳۹/۱، حداقل دما ۱۷- و متوسط دمای روزانه ۱۲ درجه سانتی‌گراد است. نتایج تجزیه خاک، منطقه مورد نظر در جدول ۱ آمده است.

جدول ۱- نتایج تجزیه خاک محل آزمایش در عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری در دو سال مورد مطالعه

Table 1- Results of soil analysis at 0-30 cm depth in two years studied

سال زراعی Cropping year	بافت خاک Texture	هدایت الکتریکی EC (dS. m^{-1})	اسیدیته pH	مواد آلی OM (%)	نیتروژن N (%)	فسفر P (ppm)	پتاسیم K (ppm)
۱۳۹۴-۱۳۹۳ 2013-2014	لوم رسی Loam-clay	2.89	7.14	0.46	0.147	5.4	276
۱۳۹۵-۱۳۹۴ 2015-2016	لوم Loam	3.70	7.60	0.70	0.073	12.4	297

این آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. تیمارهای آزمایش بر اساس ترکیبی از چهار منبع تأمین‌کننده نیتروژن شامل: (کود دامی، ورمی‌کمپوست، کود شیمیایی (NPK) و شاهد (بدون اعمال هیچ‌گونه کودی) و نیز

چهار نوع کود زیستی شامل: نیتروکسین (شامل ازتوباکتر[۱] و آزوسپیریلیوم[۲])، میکوریزا[۳] (گلوموس اینترارادیسیس[۴])، بیوسولفور (شامل تیوباسیلوس[۵])+ گوگرد و شاهد (بدون اعمال هیچ‌گونه کودی) بودند. در این تحقیق اندازه هر کرت ۴×۳ متر (۱۲ مترمربع)، فاصله بین کرت‌ها ۰/۵ متر و فاصله بین بلوک‌ها سه متر در نظر گرفته شد. به‌منظور پیشگیری از اختلاط تیمارهای مختلف کودی در زمان آبیاری، یک پشته نکاشت بین هر دو کرت در نظر گرفته شد.

عملیات کاشت خرفه در سال اول آزمایش، ۱۰ اردیبهشت ۱۳۹۴ و در سال دوم آزمایش، ۱۸ اردیبهشت ۱۳۹۵ با دست و به‌صورت خشکه‌کاری در کرت‌های مذکور انجام شد. در این آزمایش فاصله بین ردیف ۴۰ سانتی‌متر و فاصله بین بوته‌ها ۱۵ سانتی‌متر (تراکم ۱۶۶۶۶۶/۶ بوته در هکتار) در نظر گرفته شد (Javadi *et al*., 2017). جهت دستیابی به تراکم فوق، ابتدا بذرها با تراکم بالا کشت شد، سپس با عمل تنک کردن در دو مرحله شش و هشت برگی، تراکم مورد نظر حاصل شد. پس از کاشت، نسبت به آبیاری هر کرت به‌صورت جداگانه، توسط سیفون اقدام شد. آبیاری پس از سبز شدن، هر ۷ روز یک‌بار تا پایان فصل رشد ادامه یافت. در مراحل مختلف آبیاری، زمان صرف شده برای آبیاری کرت‌ها یکسان در نظر گرفته شد. در این تحقیق بر اساس نیاز گیاه خرفه و آزمون خاک، کود NPK با مقادیر خالص پتاسیم، فسفر و نیتروژن به‌ترتیب ۵۰، ۱۵۰ و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار اعمال شد. کود فسفر (از منبع سوپر فسفات تریپل) و پتاسیم (از منبع سولفات پتاسیم)، قبل از کاشت در سطح کرت‌های مورد نظر پخش و با خاک مخلوط شده و کود شیمیایی نیتروژن (از منبع اوره) نیز به‌صورت سرک در دو مرحله، نیمی در ابتدای کاشت، هم‌زمان با کاربرد کودهای دیگر و نیمی دیگر پس از پایان چین اول خرفه و شروع چین دوم به‌صورت سرک به خاک اضافه شد. با توجه به اینکه هر یک از کرت‌های آزمایش باید از میزان نیتروژن مساوی از منابع آلی و شیمیایی برخوردار باشند لذا مقادیر کود دامی و ورمی‌کمپوست بر اساس مقدار نیتروژن توصیه شده (۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار) برآورد و اعمال شد. با توجه به این‌که از کل عناصر موجود در کود دامی مقدار ۵۰ درصد در سال اول آزاد می‌شود، مقدار به‌دست آمده برای کود دامی دو برابر مقادیر نیتروژن توصیه شده در نظر گرفته شد (Rezvani Moghaddam *et al*, 2014). نتایج حاصل از تجزیه کود دامی و ورمی‌کمپوست به تفکیک دو سال آزمایش در جدول ۲ آمده است.

بر اساس محتوی نیتروژن کود دامی (گاوی) و ورمی کمپوست (جدول ۲) میزان کود مورد استفاده در سال اول آزمایش برای کود دامی و ورمی کمپوست به ترتیب ۳۳۸۹۸/۳ و ۶۴۹۳/۵ کیلوگرم در هکتار و در سال دوم آزمایش ۳۳۳۳۳/۳ و ۱۲۸۲۰/۵۱ کیلوگرم در هکتار برآورد شد.

جهت تلقیح بذرهای خرفه با میکوریزا از خاک حاوی سویه گلوموس اینترارادیسیس استفاده شد که هم‌زمان با کاشت به‌صورت دولایه تلقیح با خاک حاوی میکوریزا در بالا و پایین بذرها و به میزان ۱/۵ کیلوگرم در هر کرت (۳۰۰ گرم در مترمربع) صورت پذیرفت. خاک حاوی میکوریزا سویه گلوموس اینترارادیسیس از شرکت زیست‌فناوری توران واقع در پارک علم و فناوری شاهرود تهیه شد. اعمال کود نیتروکسین (حاوی باکتری‌های ازتوباکتر و آزوسپیریلوم) در یک مرحله به‌صورت تلقیح با بذور قبل از کاشت (بذر مال) به میزان ۰/۵ لیتر به‌ازای هر هشت کیلوگرم بذر در هکتار (بر اساس توصیه کودی شرکت زیستی مهر آسیا) انجام شد. البته با توجه به عدم درج نام خرفه در لیست توصیه‌های کودی این شرکت، از گیاهان نزدیک به آن (کلزا) استفاده شد. تلقیح بذور با نیتروکسین در سایه و دور از تابش مستقیم آفتاب انجام و کرت‌ها بلافاصله آبیاری شدند. همچنین، اعمال کود بیوسولفور (حاوی تیوباسیلوس) به همراه مصرف گوگرد بنتونیت‌دار در یک مرحله و به‌صورت تلقیح با بذور به میزان ۶ کیلوگرم بیوسولفور به‌ازای هر هکتار و ۳۰۰ کیلوگرم گوگرد بنتونیت‌دار در هکتار (بر اساس توصیه کودی شرکت زیستی مهر آسیا) انجام شد.

عملیات مبارزه با علف‌های هرز طی سه نوبت با دست انجام پذیرفت. در طول فصل رشد در سال اول آزمایش و چین دوم، بیماری زنگ سفید[۶] مشاهده و جهت جلوگیری از خسارت از سم ریدومیل[۷] به میزان ۱/۵ در هزار استفاده شد. در سال دوم آزمایش و در چین اول، آفت سرخرطومی بلند چغندرقند[۸] مشاهده و جهت جلوگیری از خسارت از سم تیودیکارب[۹] (لاروین) به میزان ۱/۵ در هزار استفاده شد. در طی فصل رشد این گیاه دو چین برداشت (چین اول در سال اول آزمایش در تاریخ ۹۴/۴/۲۸ و در سال دوم آزمایش در تاریخ ۹۵/۵/۱۸، چین دوم در سال اول آزمایش در تاریخ ۹۴/۶/۲۶ و در سال دوم آزمایش در تاریخ ۹۵/۷/۱۰) شد.

1- *Azotobacter*
2- *Azospirillum*
3- *Mycorrhiza*
4- *Glomus intraradices*
5- *Thiobacillus*
6- *Wilsoniana Portulacae*
7- Ridomil- MZ, 72 WP
8- *Lixus incanescens* Boh.
9- Thiodicarb

جدول ۲- نتایج تجزیه کود گاوی و ورمی‌کمپوست در دو سال زراعی مورد مطالعه
Table 2- Analysis of cow manure and vermicompost studied in two crop year

سال زراعی Cropping year	نوع کود Type of fertilizer	هدایت الکتریکی EC ($dS.m^{-1}$)	اسیدیته pH	کربن آلی (%)	نیتروژن کل (%)	فسفر (%)	پتاسیم (%)	کربن به نیتروژن (C/N)
۱۳۹۳-۱۳۹۴	ورمی‌کمپوست Vermicompost	6.70	7.52	17.7	1.54	0.71	0.28	11.49
2014-2015	کود گاوی Cow manure	4.56	7.95	6.78	0.59	0.50	0.32	11.49
۱۳۹۴-۱۳۹۵	ورمی‌کمپوست Vermicompost	7.78	7.70	7.70	0.78	0.32	0.38	9.87
2015-2016	کود گاوی Cow manure	8.26	7.40	7.10	0.60	0.28	0.51	11.83

جهت تعیین عملکرد زیستی پس از حذف ردیف‌های کناری و نیم‌متر ابتدا و انتهای هر کرت برداشت صورت پذیرفت. عملکرد خشک زیست‌توده، از قرار دادن اندام‌های هوایی در آون با دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد و به مدت ۷۲ ساعت و پس از توزین آن‌ها به دست آمد (Javadi *et al.*, 2017). به‌منظور تعیین درصد نیتروژن اندام‌های هوایی و محاسبه شاخص‌های کارایی نیتروژن، ابتدا نمونه‌های گیاهی آسیاب و پس از هضم با اسیدسولفوریک و کاتالیزور، مقدار نیتروژن موجود در عصاره حاصل توسط روش کجلدال (Ogg, 1960) اندازه‌گیری شد. جنبه‌های مختلف کارایی نیتروژن با استفاده از طریق معادله‌های زیر محاسبه گردید (Asadi *et al.*, 2014):

$$NupE = (N_{off} / N_s) \times 100 \quad (۱)$$

$$NutE_b = (B / N_{off}) \quad (۲)$$

$$NUE_b = (B / N_s) \quad (۳)$$

در این رابطه‌ها، NupE: کارایی جذب (بازیافت) نیتروژن، N_{off}: نیتروژن موجود در زیست‌توده (کیلوگرم در هکتار)، N_s: نیتروژن موجود در خاک که شامل نیتروژن اولیه خاک و نیتروژن مصرفی (کیلوگرم در هکتار) می‌باشد، $NutE_b$: کارایی مصرف (فیزیولوژیک) نیتروژن برحسب عملکرد زیست‌توده، B: عملکرد زیست‌توده (کیلوگرم در هکتار) و NUE_b: کارایی زراعی (بهره‌وری) نیتروژن برحسب عملکرد زیست‌توده می‌باشد.

برای محاسبه کارایی مصرف نیتروژن، علاوه بر کود مصرفی، میزان نیتروژن موجود در خاک نیز در نظر گرفته شد. برای این منظور و محاسبه ذخیره نیتروژن خاک قبل از کشت گیاه زراعی، عمق خاک برای خرفه ۳۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد و با توجه به درصد نیتروژن خاک و وزن مخصوص ظاهری خاک میزان نیتروژن موجود در خاک به‌دست آمد (جدول ۱) که میزان آن در سال اول آزمایش ۵۴۶۰ کیلوگرم در هکتار (وزن مخصوص ظاهری خاک ۱/۳ گرم بر سانتی‌متر مکعب) و در سال دوم آزمایش ۳۰۶۶ کیلوگرم در هکتار (وزن مخصوص ظاهری خاک ۱/۴ گرم بر سانتی‌متر مکعب) بود. با توجه به این‌که فقط ۳ درصد نیتروژن کل خاک قابل جذب برای گیاه می‌باشد (Cassman *et al.*, 2002)، بنابراین میزان نیتروژن قابل جذب گیاه از خاک در سال اول آزمایش ۱۶۳/۸ کیلوگرم در هکتار و در سال دوم آزمایش ۹۱/۹۸ کیلوگرم در هکتار بود.

به‌منظور تعیین درصد فسفر اندام‌های هوایی و محاسبه شاخص‌های کارایی فسفر، ابتدا نمونه‌های گیاهی آسیاب و به روش هضم خشک آماده شده و سپس مقدار فسفر در عصاره حاصل به روش مورفی و رایلی (Morphy and Riley, 1962) اندازه‌گیری شد.

جنبه‌های مختلف کارایی فسفر با استفاده از رابطه‌های (۱)، (۲) و (۳) محاسبه گردید. با این تفاوت که در رابطه‌های مذکور فسفر جایگزین نیتروژن شد. برای محاسبه کارایی مصرف فسفر، علاوه بر کود مصرفی، میزان فسفر موجود در خاک نیز در نظر گرفته شد. برای این منظور و محاسبه ذخیره فسفر خاک قبل از کشت گیاه زراعی، عمق خاک برای خرفه ۳۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد و با توجه به درصد فسفر خاک و وزن مخصوص ظاهری خاک میزان فسفر موجود در خاک به‌دست آمد (جدول ۱) که میزان آن در سال اول آزمایش ۴۸/۳۶ کیلوگرم در هکتار (وزن مخصوص ظاهری خاک ۱/۳ گرم بر سانتی‌متر مکعب) و در سال دوم آزمایش ۲۲/۶۸ کیلوگرم در هکتار (وزن مخصوص ظاهری خاک ۱/۴ گرم بر سانتی‌متر مکعب) بود.

پس از جمع‌آوری داده‌ها، تجزیه واریانس مرکب با استفاده از نرم‌افزار Minitab 17 انجام پذیرفت. میانگین‌ها نیز با استفاده از آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) و در سطح ۵ درصد مورد مقایسه قرار گرفتند.

نتایج و بحث

عملکرد زیست‌توده

نتایج تجزیه مرکب نشان داد که اثر منابع کودی نیتروژن در سطح احتمال یک درصد و برهمکنش منابع کودی نیتروژن و کود زیستی و برهمکنش سال، منابع کودی نیتروژن و کود زیستی در سطح احتمال پنج درصد بر عملکرد زیست‌توده معنی‌دار بود (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین برهمکنش منابع کودی نیتروژن و کود

زیستی بر عملکرد زیست‌توده نشان داد که در تیمار شاهد (عدم مصرف کود آلی و شیمیایی) و کود شیمیایی (NPK) استفاده از تیمار کود زیستی تأثیر معنی‌داری بر عملکرد زیست‌توده نداشت و در برخی موارد (مصرف کود شیمیایی و میکوریزا) موجب کاهش عملکرد زیست‌توده شد (جدول ۴). تأثیر مثبت کود زیستی زمانی مشخص شد که با کودهای آلی مورد استفاده قرار گرفتند. به‌طوری که در تیمار مصرف کود گاوی و ورمی‌کمپوست بیشترین عملکرد زیست‌توده به‌ترتیب از میکوریزا و نیتروکسین و با افزایش ۴/۶ و ۷/۳ درصدی نسبت به شاهد (عدم کاربرد کود) حاصل شد (جدول ۴). نتایج این تحقیق نشان داد که بیشترین عملکرد زیست‌توده از تیمار کود شیمیایی (NPK) و نیتروکسین حاصل شد که از افزایش ۴۵/۶ درصدی نسبت به شاهد (عدم مصرف هیچ کودی) برخوردار بود (جدول ۴). در تحقیقی، کاربرد کودهای آلی و شیمیایی نسبت به شاهد (عدم کاربرد کود) وزن خشک بوته خرفه را افزایش داد، ولی تأثیر مصرف کود شیمیایی بر این صفات بیشتر از کودهای آلی بود (Yusefian Ghahfarokhi *et al.*, 2015). ایناناوفر و همکاران (Inanloofar *et al.*, 2013) در مطالعه اثر کود بیولوژیک (نیتروکسین)، شیمیایی (۲۵۰ کیلوگرم در هکتار اوره) و تلفیق کود بیولوژیک و ۵۰ درصد کود شیمیایی بر عملکرد خرفه گزارش کرد که بیشترین وزن خشک اندام‌های هوایی از تلفیق نیتروکسین و ۵۰ درصد کود اوره حاصل شد. نتایج برخی مطالعات نشان می‌دهد که رابطه منفی بین کاربرد کودهای شیمیایی و کلونیزاسیون میکوریزایی وجود دارد (Safir, 1987; Gryndler *et al.*, 2006). نیتروکسین از طریق توسعه سیستم ریشه‌ای (Kolb and Martin, 1985) باعث افزایش جذب آب و عناصر غذایی (Fitter, 2000) و مصرف کودهای شیمیایی به‌ویژه نیتروژن از طریق جذب بهتر فسفر و پتاسیم موجود در خاک، افزایش شاخص سطح برگ و کارایی فتوسنتز باعث افزایش عملکرد زیست‌توده شد (Ashraf *et al.*, 2005).

جدول ۳- تجزیه واریانس مرکب (مربعات میانگین) تأثیر کودهای آلی، شیمیایی و زیستی بر عملکرد زیست‌توده و کارایی مصرف نیتروژن خرفه

Table 3- Combined variance analysis (mean squares) effect of organic, chemical and biofertilizer on biomass yield and nitrogen use efficiency of purslane

منابع تغییرات S. O.V	درجه آزادی d.f	عملکرد زیست‌توده Biomass yield	نیتروژن زیست‌توده Biomass nitrogen	محتوای نیتروژن زیست‌توده Nitrogen content of biomass	کارایی جذب نیتروژن Nitrogen uptake efficiency	کارایی فیزیولوژیک نیتروژن زیست‌توده Nitrogen physiological efficiency of biomass	کارایی زراعی نیتروژن زیست‌توده Nitrogen agronomic efficiency of biomass
سال Year (Y)	1	0.30 ^{ns}	0.017 ^{ns}	106.0 ^{ns}	50229**	10.18 ^{ns}	17631 **
تکرار (سال) Rep (Y)	4	9.13	0.25	4263.3	3294	749.53	621
منابع آلی و شیمیایی Inorganic and organic sources (A)	3	10.66 **	0.15 *	7513.8**	3573**	283.83 ^{ns}	468 *
سال × منابع آلی و شیمیایی Y×A	3	2.05 ^{ns}	0.000001 ^{ns}	427.2 ^{ns}	90 ^{ns}	16.21 ^{ns}	54 ^{ns}
کود زیستی Biofertilizer (B)	3	0.91 ^{ns}	0.120 ^{ns}	652.9 ^{ns}	414 ^{ns}	467.61 *	81 ^{ns}
سال × کود زیستی Y×B	3	1.41 ^{ns}	0.00001 ^{ns}	414.3 ^{ns}	324 ^{ns}	25.01 ^{ns}	108 ^{ns}
منابع آلی و شیمیایی × کود زیستی A×B	9	4.53 *	0.459 **	7408.4**	4257 **	946.36 **	315 **
سال × منابع آلی و شیمیایی × کود زیستی Y×A×B	9	4.01 *	0.00004 ^{ns}	1049.1 ^{ns}	1062*	10.82 ^{ns}	288 *
خطای اصلی E_a	60	1.74	0.048	794.4	450	129.26	108
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)		19.3	16.۶	24.3	24. 7	18.0	21.0

**، * و ns به‌ترتیب معنی‌دار در سطح ۱، ۵٪ و غیر معنی‌دار می‌باشد.

**,* and ^{ns} are significant at 1 and 5% probability levels and non-significant, respectively

جدول ٤- مقایسه میانگین برهمکنش کودهای آلی، شیمیایی و کود زیستی بر عملکرد زیست‌توده و کارایی مصرف نیتروژن خرفه

Table 4- Comparison of the average interaction of organic, chemical and biofertilizers on biomass yield and nitrogen use efficiency of purslane

Control: شاهد (عدم کاربرد کود)، Nitroxin: نیتروکسین، Mycorrhiza: میکوریزا، Biosulfur: بیوسولفور

منابع کودی نیتروژن × کود زیستی Nitrogen fertilizer sources × Biofertilizer		عملکرد زیست‌توده Biomass yield (kg. ha^{-1})	نیتروژن زیست‌توده (درصد) Biomass nitrogen (%)	محتوای نیتروژن زیست‌توده Nitrogen content of biomass (kg. ha^{-1})	کارایی جذب نیتروژن Nitrogen uptake efficiency (%)	کارایی فیزیولوژیک نیتروژن زیست‌توده Nitrogen physiological efficiency of biomass (kg. kg^{-1})	کارایی زراعی نیتروژن زیست‌توده Nitrogen agronomic efficiency of biomass (kg. kg^{-1})
شاهد (عدم کاربرد کود) Control	Control	6.03 de	1.19 e	91.47 e-g	66.0 gh	77.95 ab	43.8 de
	Nitroxin	6.42 c-e	1.46 ed	120.09 d-f	94.5 c-e	56.65 e-g	51.3 b-d
	Mycorrhiza	6.90 b-e	1.34 c-e	115.77 d-f	89.1 c-g	60.34 c-f	52.8 b-d
	Biosulfur	5.98 de	1.20 e	91.83 e-g	69.9 f-h	65.17 b-e	45.3 c-e
کود گاوی Cow manure	Control	7.09 b-e	1.18 ef	108.33 d-f	80.4 d-g	67.76 b-e	52.5 b-d
	Nitroxin	5.66 e	0.94 f	68.12 g	46.5 h	84.23 a	38.7 e
	Mycorrhiza	7.42 a-d	1.76 ab	168.25 ab	121.8 ab	44.68 gh	53.4 b-d
	Biosulfur	6.39 c-e	1.32 c-e	108.55 d-f	76.8 d-g	59.36 d-f	45.9 c-e
کود ورمی‌کمپوست Vermicompost	Control	6.00 de	1.23 de	95.76 e-g	72.0 e-g	65.73 b-e	45 c-e
	Nitroxin	7.63 a-c	1.31 c-e	123.77 c-e	91.5 c-f	61.55 c-f	56.7 a-c
	Mycorrhiza	6.44 c-e	1.13 ef	93.02 e-g	69.6 f-h	72.61 a-c	48 c-e
	Biosulfur	6.18 c-e	1.29 de	102.72 d-f	78.6 d-g	61.31 c-f	47.1 c-e
کود شیمیایی (NPK)	Control	7.97 ab	1.56 bc	155.10 bc	109.5 bc	51.30 f-h	56.1 a-d
	Nitroxin	8.78 a	1.23 de	132.80 cd	100.8 bcd	66.58 b-e	66.6 a
	Mycorrhiza	6.34 c-e	1.09 ef	90.46 fg	65.4 gh	70.68 b-d	45.6 c-e
	Biosulfur	8.18 ab	1.82 a	188.24 a	140.4 a	43.41 h	60.6 ab
LSD $_{5\%}$		1.52	0.3	32.55	25.8	8.0	7.3

در هر ستون و برای هر عامل، میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند (P ≤۰/۰۵).

In each column, with at least one similar letter (s) are not significantly different at 5% probability level using LSD Multiple Range Test

درصد و محتوای نیتروژن زیست‌توده

نتایج تجزیه مرکب نشان داد که اثر منابع کودی نیتروژن بر درصد نیتروژن زیست‌توده در سطح احتمال پنج درصد و بر محتوای نیتروژن زیست‌توده و در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. همچنین برهمکنش منابع کودی نیتروژن و کود زیستی بر درصد و محتوای نیتروژن زیست‌توده در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین برهمکنش منابع کودی نیتروژن و کود زیستی نشان داد که در تیمار شاهد (عدم کاربرد کود آلی و شیمیایی) و ورمی‌کمپوست مصرف کود زیستی تأثیر آماری معنی‌داری بر درصد و محتوای نیتروژن زیست‌توده نداشت (جدول ۴). در تیمار کود گاوی بیشترین درصد و محتوای نیتروژن زیست‌توده از مصرف میکوریزا حاصل شد که از افزایش ۴۹/۱ و ۵۵/۳ درصدی نسبت به شاهد (عدم مصرف کود) برخوردار بودند (جدول ۴). در تیمار کود شیمیایی (NPK) نیز بیشترین درصد و محتوای نیتروژن زیست‌توده از مصرف بیوسولفور با افزایش به‌ترتیب ۱۶/۶ و ۲۱/۳ درصد و کمترین آن‌ها از مصرف میکوریزا با کاهش به‌ترتیب ۳۰/۱ و ۴۱/۶ درصد نسبت به شاهد (عدم مصرف کود) حاصل شد (جدول ۴). نتایج این تحقیق نشان داد که بیشترین درصد و محتوای نیتروژن زیست‌توده از تیمار کود شیمیایی (NPK) و مصرف بیوسولفور با افزایش به‌ترتیب ۵۲/۹ و ۱۰۵/۷ درصد نسبت به شاهد (عدم مصرف هیچ کودی) به دست آمد (جدول ۴). روند افزایش و یا کاهش درصد نیتروژن زیست‌توده با عملکرد زیست‌توده مشابهت داشت. در تحقیقی مشخص شد که هر چه عملکرد و زیست‌توده گیاه افزایش می‌یابد گیاه نیتروژن بیشتری را جذب می‌کند (Yang *et al.*, 2006).

استفاده از کود زیستی میکوریزا به دلیل بهبود توسعه سیستم ریشه‌ای گیاه باعث افزایش جذب بهتر عناصر غذایی ازجمله نیتروژن موجود در خاک (Piromyou *et al.*, 2011; Saia *et al.*, 2012) و افزایش درصد نیتروژن و عملکرد زیست‌توده (جدول ۴) خرفه شد. نتایج پژوهشی حاکی از افزایش فعالیت میکروارگانیسم‌های موجود در کودهای زیستی ازجمله ازتوباکتر، آزوسپیریلوم و میکوریزا در شرایط عدم مصرف کودهای شیمیایی و جذب بیشتر عناصر غذایی توسط سیاهدانه بود (Khorramdel *et al.*, 2010). به نظر می‌رسد در تیمار کود گاوی و مصرف میکوریزا، شرایط جهت فعالیت و گسترش قارچ‌های همزیست با ریشه خرفه فراهم شده و قارچ میکوریزا با ترشح ترکیبات آلی و تبدیل نیتروژن نامحلول خاک به فاز محلول و سپس انتقال آن به گیاه باعث افزایش محتوای نیتروژن خرفه شده باشد. در تیمار کود شیمیایی (NPK) و مصرف بیوسولفور، با توجه به آزادسازی سریع نیتروژن موجود در کودهای شیمیایی و نقش بیوسولفور در کمک به افزایش جذب عناصر غذایی با اعمال میزان مناسبی از گوگرد همراه با بیوسولفور و کاهش اسیدیته خاک

(Besharati *et al*., 2007) درصد نیتروژن و عملکرد زیست‌توده افزایش یافت و در نهایت موجب افزایش محتوای نیتروژن زیست‌توده خرفه شد. در تحقیقی مصرف بیوسولفور همراه با گوگرد موجب افزایش محتوای نیتروژن زیست‌توده سیاهدانه شد (Rezvani Moghaddam *et al*., 2014). علت کاهش درصد و محتوای نیتروژن زیست‌توده رابطه منفی بین کاربرد کودهای شیمیایی و کلونیزاسیون میکوریزایی می‌باشد (Safir, 1987; Gryndler *et al*., 2006).

کارایی نیتروژن زیست‌توده

نتایج تجزیه مرکب نشان داد که اثر سال، منابع کودی نیتروژن و اثر سال، منابع کودی نیتروژن و کود زیستی بر کارایی جذب نیتروژن و کارایی زراعی نیتروژن زیست‌توده معنی‌دار بود (جدول ۳). همچنین اثر کود زیستی بر کارایی فیزیولوژیک نیتروژن زیست‌توده و برهمکنش منابع کودی نیتروژن و کود زیستی بر کارایی جذب، کارایی فیزیولوژیک و کارایی زراعی نیتروژن زیست‌توده معنی‌دار بود (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین برهمکنش منابع کودی نیتروژن و کود زیستی بر کارایی جذب نیتروژن نشان داد که در تیمار عدم مصرف کود آلی و شیمیایی (شاهد) مصرف نیتروکسین باعث افزایش ۴۳/۱ درصدی کارایی جذب نیتروژن نسبت به شاهد (عدم کاربرد کود) شد (جدول ۴). در تیمار کود گاوی مصرف میکوریزا کارایی جذب نیتروژن را ۵۱/۵ درصد نسبت به شاهد (عدم مصرف کود) افزایش داد، این در حالی بود که در تیمار ورمی‌کمپوست مصرف کود زیستی تأثیر معنی‌داری بر کارایی جذب نیتروژن نداشت. همچنین در تیمار کود شیمیایی (NPK) مصرف کود زیستی بیوسولفور باعث افزایش ۲۸/۲ درصدی و مصرف میکوریزا باعث کاهش ۴۰/۲ درصدی کارایی جذب نیتروژن نسبت به شاهد (عدم مصرف کود) شد (جدول ۴). نتایج این تحقیق نشان داد که بیشترین کارایی جذب نیتروژن در تیمار کود شیمیایی (NPK) و با مصرف کود زیستی بیوسولفور حاصل شد که از افزایش ۲/۱ برابری نسبت به شاهد (عدم مصرف هیچ کودی) برخوردار بود (جدول ۴). رضوانی مقدم و همکاران (Rezvani Moghaddam *et al*., 2014) در مطالعه منابع کودی تأمین‌کننده نیتروژن (کود گاوی، ورمی‌کمپوست و شیمیایی) و کودهای زیستی (نیتروکسین، میکوریزا و بیوسولفور) بر کارایی جذب نیتروژن در گیاه دارویی سیاهدانه گزارش کردند که تیمارهای کود آلی نسبت به شیمیایی برتر بود. همچنین، استفاده از تیمارهای کود آلی و شیمیایی نسبت به شاهد (عدم مصرف کود آلی و شیمیایی) باعث افزایش کارایی جذب نیتروژن شد. در مطالعه این محققان، مشخص شد که استفاده از کود زیستی بیوسولفور به همراه گوگرد باعث افزایش کارایی جذب نیتروژن شد. این محققان، دلیل این افزایش را به تأثیر مصرف گوگرد در افزایش جذب عناصر پرمصرف مانند نیتروژن و نیز عناصر کم‌مصرف توسط ریشه سیاهدانه نسبت دادند. در همین ارتباط، توگی و همکاران (Togay *et al*., 2008) نیز اعمال میزان مناسبی از گوگرد به همراه نیتروژن را عامل مؤثری در افزایش جذب عناصر پرمصرفی مانند نیتروژن، فسفر، پتاسیم و نیز عناصر کم‌مصرفی مانند آهن، منگنز، روی و مس دانستند. در تحقیقی دیگر، مشخص شد که کاربرد تیوباسیلوس با اکسایش گوگرد، pH خاک را کاهش داده و سبب بهبود شرایط تغذیه‌ای گیاه شد (Rezvani Moghaddam and Seyyedi, 2014). تیمار کود شیمیایی (NPK) و کاربرد بیوسولفور به دلیل افزایش درصد نیتروژن و عملکرد زیست‌توده و افزایش محتوای نیتروژن زیست‌توده (جدول ۴) از بیشترین کارایی جذب نیتروژن نسبت به سایر تیمارهای مورد مطالعه برخوردار بود.

نتایج مقایسه میانگین برهمکنش منابع کودی نیتروژن و کود زیستی بر کارایی فیزیولوژیک نیتروژن زیست‌توده نشان داد که در تیمار عدم کاربرد کود آلی و شیمیایی (شاهد) مصرف کودهای زیستی باعث کاهش کارایی فیزیولوژیک نیتروژن زیست‌توده شد. در تیمار کود گاوی استفاده از نیتروکسین موجب افزایش ۲۴/۳ درصدی کارایی فیزیولوژیک نیتروژن زیست‌توده نسبت به شاهد (عدم کاربرد کود) شد، این در حالی بود که در تیمار ورمی‌کمپوست مصرف کود زیستی تأثیر معنی‌داری بر این صفت نداشت (جدول ۴). در تیمار کود شیمیایی (NPK) مصرف کود زیستی میکوریزا و نیتروکسین باعث افزایش به‌ترتیب ۳۷/۷ و ۲۹/۷ درصدی کارایی فیزیولوژیک نیتروژن زیست‌توده نسبت به شاهد (عدم مصرف کود) شد، این در حالی بود که تیمار کود شیمیایی (NPK) و مصرف بیوسولفور کارایی فیزیولوژیک نیتروژن زیست‌توده را ۱۵/۳ درصد نسبت به شاهد کاهش داد (جدول ۴). نتایج این تحقیق نشان داد که بیشترین کارایی فیزیولوژیک نیتروژن در تیمار کود گاوی و با مصرف کود زیستی نیتروکسین حاصل شد که از افزایش ۸ درصدی نسبت به شاهد (عدم مصرف هیچ کودی) برخوردار بود (جدول ۴). با توجه به رابطه عکس بین مقدار نیتروژن جذب شده زیست‌توده با کارایی فیزیولوژیک نیتروژن (Asadi *et al*., 2014) چنین به نظر می‌رسد که دلیل افزایش کارایی فیزیولوژیک نیتروژن در تیمار تلفیقی کود گاوی و نیتروکسین به کاهش میزان نیتروژن در دسترس گیاه و کاهش جذب نیتروژن در این تیمار مربوط باشد.

نتایج مقایسه میانگین برهمکنش منابع کودی و کود زیستی بر کارایی زراعی نیتروژن زیست‌توده نشان داد که در تیمار عدم کاربرد کود آلی و شیمیایی (شاهد) و تیمار ورمی‌کمپوست مصرف کود زیستی تأثیر معنی‌داری بر کارایی زراعی نیتروژن زیست‌توده نداشت، این در حالی بود که در تیمار کود گاوی و مصرف نیتروکسین کارایی زراعی نیتروژن زیست‌توده ۲۶/۲ درصد نسبت به شاهد (عدم مصرف کود)

کاهش یافت (جدول ۴). در تیمار کود شیمیایی (NPK) مصرف نیتروکسین و بیوسولفور کارایی زراعی نیتروژن زیست‌توده را به‌ترتیب ۱۸/۷ و ۸ درصد نسبت به شاهد (عدم کاربرد کود) افزایش داد، این در حالی بود که در تیمار کود شیمیایی (NPK) و میکوریزا کارایی زراعی نیتروژن زیست‌توده ۱۸/۷ درصد نسبت به شاهد (عدم مصرف کود) کاهش یافت (جدول ۴). نتایج این تحقیق نشان داد که بیشترین کارایی زراعی نیتروژن زیست‌توده در تیمار کود شیمیایی (NPK) و با مصرف نیتروکسین حاصل شد که از افزایش ۵۲ درصدی نسبت به شاهد (عدم مصرف هیچ کودی) برخوردار بود (جدول ۴). به نظر می‌رسد دلیل افزایش کارایی زراعی نیتروژن زیست‌توده، با توجه به ثابت بودن میزان ذخیره نیتروژن خاک در این تیمار، افزایش عملکرد زیست توده باشد.

درصد و محتوای فسفر زیست‌توده

نتایج تجزیه مرکب نشان داد که اثر منابع کودی نیتروژن و برهمکنش منابع کودی نیتروژن و کود زیستی در سطح احتمال یک درصد بر درصد و محتوای فسفر زیست‌توده معنی‌دار بود. همچنین اثر کود زیستی بر درصد فسفر زیست‌توده در سطح احتمال پنج درصد و برهمکنش سال، منابع کودی نیتروژن و کود زیستی بر محتوای فسفر زیست‌توده در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۵). نتایج مقایسه میانگین برهمکنش منابع کودی نیتروژن و کود زیستی نشان داد که در تیمار عدم کاربرد کود آلی و شیمیایی (شاهد) مصرف کود زیستی تأثیر معنی‌داری بر درصد و محتوای فسفر زیست‌توده نداشت (جدول ۶). در تیمار کودهای آلی استفاده از کود زیستی مورد مطالعه تأثیر مثبت و معنی‌داری بر این صفات داشت، به‌طوری که در تیمار کود گاوی بیشترین درصد و محتوای فسفر زیست‌توده از مصرف میکوریزا حاصل شد که از افزایش ۴۸/۲ و ۵۵/۶ درصدی نسبت به شاهد (عدم مصرف کود) برخوردار بودند (جدول ۶). همچنین در تیمار ورمی‌کمپوست بیشترین درصد و محتوای فسفر زیست‌توده از بیوسولفور به‌دست آمد که از افزایش ۴۲/۸ و ۴۴ درصدی نسبت به شاهد (عدم مصرف کود) برخوردار بودند (جدول ۶). در تیمار کود شیمیایی (NPK) بیشترین درصد و محتوای فسفر زیست‌توده از مصرف نیتروکسین به‌دست آمد که از افزایش ۶/۸ و ۱۳/۹ درصدی نسبت به شاهد (عدم مصرف کود) برخوردار بودند. همچنین در تیمار کود شیمیایی (NPK) مصرف میکوریزا موجب کاهش ۱۹/۴ درصدی محتوای فسفر زیست‌توده نسبت به شاهد (عدم مصرف کود) شد (جدول ۶). نتایج این تحقیق نشان داد که بیشترین درصد و محتوای فسفر زیست‌توده از تیمار کود شیمیایی (NPK) و با مصرف نیتروکسین حاصل شد که از افزایش ۲ و ۲/۸ برابری نسبت به شاهد (عدم مصرف هیچ کودی) برخوردار بودند (جدول ۶). استفاده از کودهای آلی همراه با کودهای زیستی از طریق افزایش ظرفیت نگهداری رطوبت، افزایش جمعیت میکروارگانیسم‌های خاک، آزادسازی تدریجی عناصر غذایی و ایجاد شرایط مناسب جهت توسعه ریشه گیاه باعث بهبود رشد و جذب فسفر در گیاه می‌شوند (Mc Ginnis *et al*., 2003). در مطالعه سیدی و همکاران (Seyyedi *et al*., 2015 a) استفاده از اصلاح‌کننده‌های خاک (گوگرد، تیوباسیلوس و ورمی‌کمپوست) نسبت به شاهد درصد فسفر زیست‌توده سیاهدانه را افزایش داد. گزارش‌هایی مبنی بر اثر منفی استفاده از کودهای مخلوط بر فعالیت میکوریزا وجود دارد (Gryndler *et al*., 2006). به نظر می‌رسد استفاده از نظام‌های تغذیه‌ای پر نهاده از طریق مختل کردن رابطه همزیستی و یا فراهم نمودن عناصر غذایی در حد نیاز گیاه کارآمدی کودهای زیستی را کاهش دهد.

در این تحقیق استفاده از نیتروکسین همراه با کود شیمیایی (NPK) به دلیل افزایش جذب عناصر غذایی و آب از طریق بهبود توسعه ریشه‌ای و توانایی تولید هورمون‌های گیاهی و محلول‌سازی فسفات غیر آلی و معدنی‌سازی فسفات آلی باعث افزایش درصد و محتوای فسفر زیست‌توده شد. با توجه به این‌که محتوای فسفر زیست‌توده نتیجه حاصل‌ضرب درصد فسفر و عملکرد زیست‌توده گیاه می‌باشد لذا، هر تغییری در این دو عامل بر محتوای فسفر زیست‌توده تأثیر خواهد داشت. عبدالعزیز و همکاران (Abdelaziz *et al*., 2007) نیز به دنبال تلقیح با تثبیت‌کننده‌های نیتروژن، افزایش درصد برخی از عناصر پرمصرف را ناشی از افزایش سطح جذبی ریشه به‌ازای هر واحد حجم خاک، افزایش جذب آب و فعالیت فتوسنتزی بیان کردند که مستقیماً روی فرآیندهای فیزیولوژیکی و مصرف کربوهیدرات‌ها مؤثر است. در تحقیقی نیز مشخص شد در صورتی کاربرد کود زیستی مؤثر خواهد بود که همراه با کود شیمیایی مصرف گردد (Safikhani *et al*., 2013). این در حالی بود که نتایج ازترک و همکاران (Ozturk *et al*., 2003) نشان داد که استفاده از کودهای بیولوژیک از کارایی کافی در نظام‌های پر نهاده و رایج برخوردار نیستند.

کارایی فسفر زیست‌توده

نتایج تجزیه مرکب نشان داد که اثر سال، اثر سال و منابع کودی نیتروژن بر کارایی جذب و کارایی زراعی فسفر زیست‌توده، اثر منابع کودی نیتروژن بر کارایی جذب، کارایی فیزیولوژیک و زراعی فسفر زیست‌توده، اثر کود زیستی بر کارایی فیزیولوژیک فسفر زیست‌توده و برهمکنش منابع کودی نیتروژن و کود زیستی بر کارایی جذب فسفر و کارایی فیزیولوژیک فسفر زیست‌توده معنی‌دار بود. (جدول ۵). نتایج مقایسه میانگین برهمکنش منابع کودی نیتروژن و کود زیستی نشان داد که بیشترین کارایی جذب فسفر زیست‌توده در تیمار عدم کاربرد کود آلی و شیمیایی (شاهد) و با مصرف نیتروکسین حاصل شد که از افزایش ۲۲/۴ درصدی نسبت به شاهد (عدم مصرف کود) برخوردار بود (جدول ۶).

جدول ۵- تجزیه واریانس مرکب (مربعات میانگین) تأثیر کودهای آلی، شیمیایی و زیستی بر کارایی مصرف فسفر خرفه

Table 5- Combined variance analysis (mean squares) effect of organic, inorganic and biofertilizer on phosphorus use efficiency of purslane

منابع تغییرات S. O.V	درجه آزادی df	فسفر زیست‌توده Biomass phosphorus	محتوای فسفر زیست‌توده Phosphorus content of biomass	کارایی جذب فسفر Phosphorus uptake efficiency	کارایی فیزیولوژیک فسفر زیست‌توده Phosphorus physiological efficiency of biomass	کارایی زراعی فسفر زیست‌توده Phosphorus agronomic efficiency of biomass
سال Year (Y)	1	0.0009 ns	25.29 ns	5795.54**	249 ns	70846 **
تکرار (سال) Rep (Y)	4	0.0009	141.76	266.26	375	3760
منابع آلی و شیمیایی Inorganic and organic sources (A)	3	0.264**	3234.79**	5483.53**	224392 **	141405 **
سال × منابع آلی و شیمیایی Y×A	3	0.0002 ns	28.30 ns	1379.17**	235 ns	25730 **
کود زیستی Biofertilizer (B)	3	0.0039**	37.90 ns	119.52 ns	5088 **	892ns
سال × کود زیستی Y×B	3	0.0001 ns	32.27 ns	103.22 ns	749 ns	1263ns
منابع آلی و شیمیایی × کود زیستی A×B	9	0.0117**	208.56**	212.08**	13410 **	883ns
سال × منابع آلی و شیمیایی × کود زیستی Y×A×B	9	0.0001 ns	72.21**	128.75ns	373ns	1573ns
خطای اصلی E_a	60	0.00089	22.22	68.96	1138	825
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)		9.55	17.13	26.98	11.94	30.37

**، * و ns به‌ترتیب معنی‌دار در سطح ۱، ۵٪ و غیر معنی‌دار می‌باشد.

**,* and ns are significant at 1 and 5% probability levels and non-significant, respectively

جدول ٦- مقایسه میانگین برهمکنش کودهای آلی، شیمیایی و کود زیستی بر کارایی مصرف فسفر خرفه

Table 6- Comparison of the average interaction of organic, chemical and biofertilizers on phosphorus use efficiency of purslane

Control: شاهد (عدم کاربرد کود)، Nitroxin: نیتروکسین، Mycorrhiza: میکوریزا، Biosulfur: بیوسولفور

منابع کودی نیتروژن × کود زیستی Nitrogen fertilizer sources × Biofertilizer		فسفر زیست‌توده Biomass phosphorus (%)	محتوای فسفر زیست‌توده Phosphorus content of biomass (kg. ha^{-1})	کارایی جذب فسفر Phosphorus uptake efficiency (%)	کارایی فیزیولوژیک فسفر زیست‌توده Phosphorus physiological efficiency of biomass (kg. kg^{-1})
شاهد (عدم کاربرد کود) Control	Control	0.22 f	17.33 h	52.30 b	353.88 bc
	Nitroxin	0.23 f	19.11 f-h	64.04 a	333.00 bc
	Mycorrhiza	0.17 h	15.40 h	50.58 b	459.73 a
	Biosulfur	0.18 gh	14.03 h	45.33 b	429.82 a
کود گاوی Cow manure	Control	0.29 e	26.71 de	18.09 ef	262.75 d
	Nitroxin	0.33 d	24.57 e	15.26 f	231.68 de
	Mycorrhiza	0.43 ab	41.58 b	27.64 c-e	178.98 f
	Biosulfur	0.37 c	30.80 cd	19.89 ef	207.32 ef
کود ورمی‌کمپوست Vermicompost	Control	0.21 fg	16.69 h	22.18 d-f	359.54 bc
	Nitroxin	0.24 f	23.01 e-g	30.13 cd	330.95 c
	Mycorrhiza	0.21 fg	17.61 gh	23.27 c-f	371.25 b
	Biosulfur	0.30 de	24.04 ef	32.22 c	257.46 d
کود شیمیایی (NPK)	Control	0.43 ab	42.87 b	22.94 c-f	185.10 f
	Nitroxin	0.46 a	48.84 a	26.59 c-e	178.90 f
	Mycorrhiza	0.41 b	34.55 c	18.59 ef	184.98 f
	Biosulfur	0.41 b	43.03 b	23.32 c-f	191.71 f
$LSD_{5\%}$		0.034	5.44	9.59	23.9

در هر ستون و برای هر عامل، میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند (P ≤۰/۰۵).

In each column, with at least one similar letter (s) are not significantly different at 5% probability level using LSD Multiple Range Test

در تیمار کودهای آلی استفاده از کود زیستی مورد مطالعه تأثیر مثبت و معنی‌داری بر کارایی جذب فسفر زیست‌توده داشت، به‌طوری‌که بیشترین کارایی جذب فسفر زیست‌توده در تیمار کود گاوی از مصرف میکوریزا حاصل شد که از افزایش ۵۲/۸ درصدی نسبت به شاهد (عدم کاربرد کود) برخوردار بود. در تیمار ورمی‌کمپوست مصرف بیوسولفور، نیتروکسین و میکوریزا موجب شد کارایی جذب فسفر زیست‌توده به‌ترتیب ۴۵/۲، ۳۵/۸ و ۴/۹ درصد نسبت به شاهد (عدم مصرف کود) افزایش یابد. در تیمار کود شیمیایی (NPK) مصرف نیتروکسین کارایی جذب فسفر زیست‌توده را ۱۵/۹ درصد نسبت به شاهد (عدم مصرف کود) افزایش داد (جدول ۶). در این تحقیق استفاده از نیتروکسین همراه با کود شیمیایی (NPK) به دلیل افزایش جذب عناصر غذایی و آب از طریق بهبود توسعه ریشه‌ای و توانایی تولید هورمون‌های گیاهی و محلول‌سازی فسفات غیر آلی و معدنی‌سازی فسفات آلی (Piromyou *et al*., 2011; Saia *et al*., 2012) باعث افزایش درصد و محتوای فسفر زیست‌توده (جدول ۶) و در نهایت کارایی جذب فسفر زیست‌توده شد. نتایج پژوهشی حاکی از افزایش فعالیت میکروارگانیسم‌های موجود در کودهای زیستی ازجمله ازتوباکتر، آزوسپیریلوم و میکوریزا در شرایط عدم مصرف کودهای شیمیایی و جذب بیشتر عناصر غذایی توسط سیاهدانه بود (Khorramdel *et al*., 2010). به نظر می‌رسد در تیمار کود گاوی با میکوریزا شرایط جهت فعالیت و گسترش قارچ‌های همزیست با ریشه خرفه فراهم شده و قارچ میکوریزا با ترشح ترکیبات آلی و تبدیل فسفر نامحلول خاک به فاز محلول و سپس انتقال آن به گیاه باعث افزایش محتوای فسفر زیست‌توده خرفه (جدول ۶) و در نهایت افزایش کارایی فسفر زیست‌توده شده باشد.

نتایج مقایسه میانگین برهمکنش منابع کودی نیتروژن و کود زیستی بر کارایی فیزیولوژیک فسفر زیست‌توده نشان داد که در شرایط عدم کاربرد کودهای آلی و شیمیایی (شاهد) استفاده از کودهای زیستی میکوریزا و بیوسولفور باعث افزایش به‌ترتیب ۲۹/۹ و ۲۱/۴ درصدی نسبت به شاهد (عدم مصرف کود) شد. همچنین، تفاوت آماری معنی‌داری بین تیمار نیتروکسین و شاهد در ارتباط با این صفت مشاهده نشد. استفاده از کودهای آلی و زیستی باعث کاهش کارایی فیزیولوژیک فسفر زیست‌توده شد. در این پژوهش مشخص شد که در تیمار کود شیمیایی (NPK) استفاده از کودهای زیستی تأثیری بر کارایی فیزیولوژیک فسفر زیست‌توده نداشت (جدول ۶). در مطالعه سیدی و همکاران (Seyyedi *et al*., 2015 b) نیز به کاهش کارایی فیزیولوژیک فسفر سیاهدانه در اثر استفاده از تیمارهای کود آلی، شیمیایی و زیستی اشاره شده است. استفاده از کودهای آلی مانند کود گاوی و ورمی‌کمپوست می‌تواند با بهبود خصوصیات فیزیکی خاک نقش مؤثری در افزایش قابلیت جذب فسفر و افزایش محتوای فسفر زیست‌توده ایفا کند. از طرف دیگر، کود زیستی مورد مطالعه نیز از طریق بهبود توسعه سیستم ریشه‌ای (Shababang *et al*., 2014)، فراهمی رطوبت (Song, 2005) و دسترسی به عناصر غذایی قابل دسترس به‌ویژه فسفر (Saia *et al*., 2012) و تولید انواع هورمون‌های محرک (Hajibolandi *et al*., 2005) رشد موجب افزایش قابلیت جذب فسفر و افزایش محتوای فسفر زیست‌توده شدند. با توجه به این‌که کارایی فیزیولوژیک فسفر زیست‌توده به عواملی مانند عملکرد زیست‌توده و محتوای فسفر زیست‌توده بستگی دارد. لذا افزایش یا کاهش هر یک از موارد مذکور موجب تغییر این کارایی خواهد شد. بنابراین، به نظر می‌رسد در تیمارهای کود آلی مصرف کود زیستی از طریق افزایش محتوای فسفر زیست‌توده موجب شد تا کارایی فیزیولوژیک فسفر زیست‌توده کاهش یابد.

جدول ۷- مقایسه میانگین اثر کودهای آلی و شیمیایی بر کارایی مصرف فسفر خرفه

Table 7- Comparison of the average effect of organic and chemical fertilizers phosphorus use efficiency of purslane

منابع تأمین نیتروژن **Nitrogen fertilizer sources**	کارایی زراعی فسفر زیست‌توده **Phosphorus physiological efficiency of biomass (kg. kg^{-1})**
شاهد (عدم کاربرد کود) Control	394.11 a
کود گاوی Cow manure	220.18 c
کود ورمی‌کمپوست Vermicompost	329.80 b
کود شیمیایی NPK	185.17 d
$LSD_{5\%}$	8.6

در هر ستون و برای هر عامل، میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون LSD اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند (P ≤ ۰/۰۵).

In each column, with at least one similar letter (s) are not significantly different at 5% probability level using LSD Multiple Range Test

نتایج مقایسه میانگین اثر منابع کودی نیتروژن نشان داد که استفاده از کودهای آلی و شیمیایی نسبت به شاهد کارایی زراعی فسفر زیست‌توده را کاهش داد. به‌طوری که استفاده از کودهای گاوی، ورمی‌کمپوست و کود شیمیایی (NPK) به‌ترتیب باعث کاهش ۴۴/۱، ۱۶/۳ و ۵۳ درصدی کارایی زراعی فسفر زیست‌توده نسبت به شاهد شد (جدول ۷). در مطالعه سیدی و همکاران (Seyyedi *et al.*, 2015b) نیز استفاده از کود شیمیایی گوگرد و کود ورمی‌کمپوست کارایی زراعی فسفر را نسبت به شاهد در گیاه دارویی سیاهدانه کاهش داد.

با توجه به قانون بازده نزولی در مورد مصرف عناصر غذایی مبنی بر این‌که واحدهای اولیه کود مصرفی تأثیر بیشتری روی عملکرد دارند، هر قدر مصرف فسفر افزایش یابد کارایی استفاده از آن کاهش می‌یابد (Ameri *et al.*, 2009). در این پژوهش نیز بیشترین میزان فسفر خاک متعلق به تیمارهای کود شیمیایی و کود گاوی بود. از طرفی دیگر کارایی زراعی، حاصل‌ضرب کارایی جذب و مصرف فسفر است. لذا تیمار شاهد به‌دلیل کارایی جذب فسفر و کارایی فیزیولوژیک فسفر زیست‌توده بیشتر، از کارایی زراعی بالاتری نسبت به سایرین برخوردار بود.

نتیجه‌گیری

نتایج دو ساله این تحقیق نشان داد که مصرف کود زیستی به‌تنهایی تأثیری بر عملکرد زیست‌توده و کارایی زراعی نیتروژن و فسفر زیست‌توده خرفه نداشت. در تیمار کود گاوی و ورمی‌کمپوست استفاده از کود زیستی مورد مطالعه در اغلب موارد موجب اثرات هم‌افزایی شد، این در حالی بود که در تیمار کود شیمیایی NPK مصرف نیتروکسین موجب افزایش صفات مورد مطالعه و استفاده از میکوریزا موجب کاهش این صفات شد. بر اساس نتایج این آزمایش، جهت دستیابی به حداکثر عملکرد زیست‌توده و با در نظر گرفتن حداکثر کارایی مصرف فسفر و نیتروژن زیست‌توده استفاده از تیمار کود شیمیایی (NPK) و نیتروکسین در منطقه بیرجند توصیه می‌شود.

سپاسگزاری

از زحمات جناب آقای دکتر مهدی نصیری محلاتی استاد گروه اگروتکنولوژی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد به جهت راهنمایی‌های ارزنده ایشان در تجزیه آماری این پژوهش تشکر و قدردانی می‌شود.

References

1. Abdelaziz, M., Pokluda, R., and Abdelwahab, M. 2007. Influence of compost, microorganisms and NPK fertilizer upon growth, chemical composition and essential oil production of *Rosmarinus officinalis* L. Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj_Napoca 35: 86-90.
2. Ameri, A., Nassiri Mahalati, M., and Rezvani Moghadam, P. 2009. Effects of different nitrogen levels and plant density on flower, essential oils and extract production and nitrogen use efficie ncy of Marigold (*Calendula officinalis*). Iranian Journal of Field Crops Research 5(2): 315-326. (in Persian with English abstract).
3. Asadi, G. A., Momen, A., Nurzadeh Namaghi, M., and Khorramdel, S. 2014. Effects of organic and chemical fertilizer rates on nitrogen efficiency indices of isabgol (*Plantago ovata* Forsk.). Agroecology 5 (4): 373-382. (in Persian with English abstract).
4. Ashraf, M., Ali, Q., and Rha, E. S. 2005. The effect of applied nitrogen on the growth and nutrient concentration of Kalonji (*Nigella sativa*). Australian Journal of Experimental Agriculture 45 (4): 459-463.
5. Aynanlvfr, M., Omidi, H., and Pazky, A. R. 2014. Morphological changes, agricultural and oil content Purslane (*Portulaca oleracea* L.) Effect of water and fertilizer, bio/chemical nitrogen. Herb Quarterly 12 (4): 170-184. (in Persian with English abstract).
6. Berenguer, P., Santiveri, F., Boixadera, J., and Lloveras, J. 2009. Nitrogen fertilization of irrigated maize under Mediterranean conditions. European Journal of Agronomy 30: 163-171.
7. Besharati, H., Atashnama, K., and Hatami, S. 2007. Biosuper as a phosphate fertilizer in a calcareous soil with low available phosphorus. African Journal of Biotechnology 6: 1325-1329.
8. Cassman, K. G., Dobermann, A. R., and Walters, D. T. 2002. Agroecosystems, nitrogen-use efficiency, and nitrogen management. Ambio 31 (2): 132-140. Available at: http://digitalcommons. Unl.edu/agronomyfacpub/356
9. Den Hollander, N. G., Bastiaans, L., and Kropff, M. J. 2007. Clover as a cover crop for weed suppression in an intercropping design. II. Competitive ability of several clover species. European Journal of Agronomy 26: 104-112.
10. Fitter, A. 2000. Characteristics and Functions of Root Systems. Marcel Dekker, New York.
11. Gryndler, M., Larsen, J., Hrselova, H., Rezacova, V., Gryndlerova, H., and Kubat, J. 2006. Organic and mineral fertilization, respectively, increase and decrease the development of extemal mycelium of *arbuscular mycorrhizal* fungi in a long-term field experiment. Mycorrhiza 16 (3): 159- 166.
12. Hajibolandi, R., Barzegar, R., and Asgharzadeh, N. A. 2005. Studying the effect of mycorrhiza on root morphology and rhizosphere's pH in rice with rizobox system. The Proceeding of 9th Iranian Soil Science Congress, Tehran, 28- 31 August.

13. Inanloofar, M., Omidi, H., and Pazoki, A. R. 2013. Morphological, agronomical changes and oil content in purslane (*Portulaca oleracea* L.) under drought stress and biological /chemical fertilizer of nitrogen. Journal of Medicinal Plant 48: 170-184. (in Persian with English abstract).
14. Javadi, H., Rezvani Moghadam, P., Seghatoleslami, M. J., and Mosavi, Gh. R. 2017. Effect of sowing date and plant density on yield and yield components of common purslane (*Protulaca Oleracea* L.). Iranian Journal of Field Crops Research 15 (1): 113-123. (in Persian with English abstract).
15. Khorramdel, S., Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., and Ghorbani, R. 2010. Effect of biofertilizers on the yield and yield components of black cumin (*Nigella sativa* L.). Iranian Journal of Field Crops Research 8 (5): 768-776. (in Persian with English abstract).
16. Kolb, W., and Martin, P. 1985. Response of plant roots to inoculation with *Azospirillum brasilense* and to application of indole acetic acid. Springer, Berlin Heidelberg, New York.
17. Koocheki, A., Nasiri Mahallati, M., Moradi, R., and Alizadeh, Y. 2015. Evaluation of yield and nitrogen use efficiency of maize and cotton intercropping under different nitrogen levels. Iranian Journal of Field Crops Research 13 (1): 1-13. (in Persian with English abstract).
18. Mc Ginnis, M., Cooke, A., Bilderback, T., and Lorscheider, M. 2003. Organic fertilizers for basil treatment production. Acta Horticulturea 491: 213-218.
19. Morphy, J., and Riley, J. P. 1962. Phosphorus analysis procedure. In: Methods of soil analysis: part 2, Chemical and Microbiological Properties. Page, A. L. (Ed). 1982. Second Edition. Madison, Wisconsin USA. pp. 413-427.
20. Ogg, C. L. 1960. Determination of nitrogen by the micro-kjeldahl method. Journal of the Association of Official Analytical Chemists 43: 689-693.
21. Ozturk, A., Caglar, O., and Sahin, F. 2003. Yield response of wheat and barley to inoculation of plant growth promoting rhizobacteria at various levels of nitrogen fertilization. Journal of Plant Nutrition and Soil Science 166 (2): 262-266.
22. Piromyou, P., Buranabanyat, B., Tantasawat, P., Tittabutr, P., Boonkerd, N., and Teaumroong, N. 2011. Effect of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) inoculation on microbial community structure in rhizosphere of forage corn cultivated in Thailand. European Journal of Soil Biology 47: 44-54.
23. Rahimi, Z., Kafi, M., Nezami, A., and Khozaie, H. R. 2011. Effect of salinity and silicon on some morphophysiologic characters of purslane (*Portulaca oleracea* L.). Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants 27 (3): 359- 374. (in Persian with English abstract).
24. Rahimzadeh, S., Sohrabi, Y., Heidari, Gh. R., Eivazi, A. R., and Hoseini, S. M. T. 2013. Effect of biofertilizers on macro and micro nutrients uptake and essential oil content in *Dracocephalum moldavica* L. Iranian Journal of Field Crops Research 11 (1): 179-190. (in Persian with English abstract).
25. Rezvani Moghaddam, P., and Seyyedi, S. M. 2014. The Effects of organic and biological fertilizers on phosphorus and potassium uptake by black seed (*Nigella sativa* L.). Journal of Horticultural Science 28 (1): 43-53. (in Persian with English abstract).
26. Rezvani Moghaddam, P., Seyedi, S. M., and Azad, M. 2014. Effects of organic, chemical and biological sources of nitrogen on nitrogen use efficiency in black seed (*Nigella sativa* L.). Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants 30 (2): 260-274. (in Persian with English abstract).
27. Safikhani, S., Chaichi, M., and Porbabaei, A. 2013. The Effects of different N fertilizers (chemical, biological and integrated) on forage quality of berseem clover in an intercropping system with basil. Iranian Journal of Field Crop Science 44 (2): 237-248. (In Persian with English abstract).
28. Safir, G. R. (editor): 1987. Echophysiology of va mycorrhizal plants. CRC Press. Boca Raton, FL, U.S.A.
29. Saia, S., Ruisi, P., Garcia-Garrido, J. M., Benitez, E., Amato, G., and Giambalvo, D. 2012. Can arbuscular mycorrhizal fungi enhance plant nitrogen capture from organic matter added to soil? 17th Nitrogen Workshop. 26-29 Jun, Wexford, Ireland.
30. Seyyedi, S., Khajeh-Hosseini, M., Rezvani Moghaddam, P., and Shahandeh, H. 2015a. Relation between the increasing soluble phosphorus and nitrogen uptake and its effects on phosphorus harvest index of black seed. Iranian Journal of Field Crop Science 46 (1): 25-36. (in Persian with English abstract).
31. Seyyedi, S., Rezvani Moghadam, P., and Khaje Hosseini, M. 2015b. Effects of sulfur, vermicompost + Thiobacilus bacteria on some chemical properties of calcareous soil and phosphorus use efficiency of black seed. Journal of Plant Ecophysiology 7 (22): 205-220. (in Persian with English abstract).
32. Shabahang, J., Khorramdel, S., Siahmargue, A., Gheshm, R., and Jafari, L. 2014. Evaluation of integrated management of organic manure application and mycorrhiza inoculation on growth criteria, qualitative and essential oil yield of hyssop (*Hyssopus officinalis* L.) under Mashhad climatic conditions. Agroecology 6 (2): 353-363. (in Persian with English abstract).
33. Soltaninejhad, F., Fallah, S., and Heidari, M. 2013. Effect of different sources and rates of nitrogen fertilizer on the growth and biomass production of purslane (*Portulaca oleracea*). Journal of Crop Production 6 (3): 125-143. (in Persian with English abstract).

34. Talgre, L., Lauringson, E., Roostalu, H., and Astover, A. 2009. The effects of green manures on yields and yield quality of spring wheat. Agronomy Research 7(1): 125-132.
35. Togay, N., Togay, Y., Cimrin, K. M., and Turan, M. 2008. Effects of rhizobium inoculation, sulfur and phosphorus applications on yield, yield components and nutrient uptakes in chickpea (*Cicer arietinum* L.). African Journal of Biotechnology 7 (6): 776-782.
36. Yang, S. M., Malhi, S. S., Song, J. R., Xiong, Y. C., Yue, W. Y., Lu, L. L., Wang, J. G., and Guo, T. W. 2006. Crop yield, nitrogen uptake and nitrate-nitrogen accumulation in soil as affected by 23 annual applications of fertilizer and manure in the rainfed region of Northwestern China. Nutrient Cycling in Agroecosystems 76: 81-94.
37. Yusefian Ghahfarokhi, H., Abdali Mashhadi, A., Bakhshandeh, A., Lotfi, A., and Abadi, J. 2015. Evaluation of effect attract moisture substances and organic fertilizers on quality and quantity yield of Purslane (*Portulaca oleracea* L.) in Ahwaz region. Journal of Plant Process and Function 4 (13): 87-96. (in Persian with English abstract).

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 18, No. 3, Fall. 2020, p. 309-322

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۸، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۹، ص. ۳۲۲-۳۰۹

Evaluation of Biomass Yield and Nitrogen and Phosphorus Efficiency Indicators of Portulaca (*Portulaca oleracea* L.) Affected by Organic, Chemical and Biological Fertilizers

H. Javadi[1], P. Rezvani Moghaddam[2*], M. H. Rashed Mohasel[3], M. J. Seghatoleslami[4]

Received: 26-02-2020
Accepted: 12-10-2020

Introduction

Purslane (*Portulaca oleracea* L.) is an annual and C4 plant belonging to the family portulacaceae. The plant is drought- and salt-tolerant which contains high amounts of beneficial omega-3 fatty acids and antioxidant vitamins. Nitrogen is the key element in soil fertility and crop production. Attention to the soil quality and health has increased in recent years, especially for sustainable production of medicinal crops. So that, for production of healthy food in industrialized countries, using natural and on-farm inputs has been considered. One of the practical ways to achieve this goal is organic and biofertilizers. Given the importance of purslane as a medicinal plant and due to the fact that there is not detailed information about the nitrogen requirement for this plant, this study was conducted to evaluate the effect of organic, biological and chemical fertilizers on biomass yield, N and P use efficiency of the purslane in Birjand, Iran.

Materials and Methods

This research was carried out during two growing seasons from 2014 to 2016 at the research farm of Birjand University. The experiment was conducted as factorial based on a randomized complete block design with three replications. The treatments were a combination of four sources of nitrogen supply, including cow manure, vermicompost, fertilizer (NPK) and control (without any fertilizer), as well as four types of biofertilizers including nitroxin (*Azotobacter* and *Azospirilum*), Mycorrhiza (*Glomus intraradices*), Biosulfur (*Thiobacillus* with sulfur) and control (without any fertilizer). The studied traits included stem biomass yield, nitrogen and phosphorus percentage, nitrogen and phosphorus content, nitrogen and phosphorus uptake efficiency, nitrogen and phosphorus physiological efficiency and nitrogen and phosphorus agronomic efficiency based on biomass. Statistical analysis was performed using Minitab 17 software. To compare the averages, LSD test was used at the 5% probability level.

Results and Discussion

The results of the experiment showed that in chemical fertilizer (NPK) treatment, nitroxin consumption increased biomass yield (45.6%), nitrogen agronomic efficiency of biomass (52%), biomass phosphorus (2 times), the content of biomass phosphorus (2.8 times). On the other hand, biosulfur consumption increased biomass nitrogen (52.9%), biomass nitrogen content (2 times) and nitrogen uptake efficiency (2.1 times) compared to the control treatment. In the treatment of cow manure, the use of nitroxin increased the physiological efficiency of biomass (8%), however in the control treatment, the use of nitroxin increased the efficiency of phosphorus uptake (22.4%). Also in control treatment, the use of mycorrhiza and biosulfur (29.9% and 21.4%, respectively) increased the physiological efficiency of biomass phosphorus compared to the control treatment. On the other hand, consumption of nitrogen fertilizer sources reduced phosphorus agronomic efficiency of biomass compared to the control.

Conclusions

Based on the results of this experiment, in Birjand region, the use of chemical fertilizer (NPK) and nitroxin are recommended to achieve maximum biomass yield and phosphorus and nitrogen use efficiency.

Keywords: Biosulfur, Cow manure, Mycorrhiza, Nitroxin, Vermicompost

---

1- PhD Graduated, Department of Agrotechnology, Ferdowsi University of Mashhad
2- Professor, Department of Agrotechnology, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad
3- Professor, Department of Agrotechnology, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad
4- Associate Professor, Department of Agriculture, Birjand branch, Islamic Azad University, Birjand, Iran
(*- Corresponding Author Email: Rezvani@um.ac.ir)